

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-311311
(P2000-311311A)

(43) 公開日 平成12年11月7日(2000.11.7)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード(参考)

G 1 1 B 5/31

G 1 1 B 5/31

F 5 D 0 3 3

C

D

K

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願平11-121110

(22) 出願日

平成11年4月28日(1999.4.28)

(71) 出願人 000003067

ティーディーケー株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72) 発明者 佐々木 芳高

東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(74) 代理人 100107559

弁理士 星宮 勝美

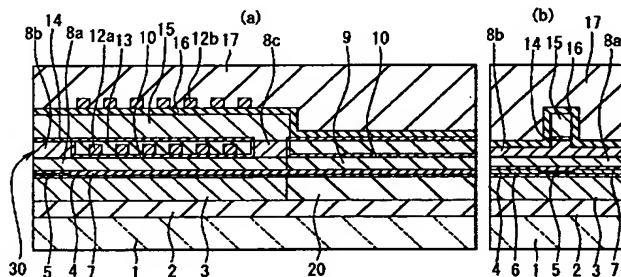
Fターム(参考) 5D033 BA07 BA36 BA37 BB43 DA02
DA31

(54) 【発明の名称】 薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 誘導型磁気変換素子のトラック幅の縮小および磁路長の縮小を可能にする。

【解決手段】 薄膜磁気ヘッドは、再生ヘッドと記録ヘッドとを備えている。記録ヘッドは、記録ギャップ層14を介して互に対向する磁極部分を含む下部磁極層8a～8cおよび上部磁極層15と、一部がこれらの間を通過し、上部磁極層15を中心にして螺旋状に巻回された薄膜コイル12a、12bとを有している。下部磁極層は、薄膜コイルの第1層部分12aに対向する領域を含む領域に配置された第1の部分8aと、第1の部分8aにおける上部磁極層15側の面に接続され、磁極部分を形成する第2の部分8bとを有し、薄膜コイルの第1層部分12aは第2の部分8bの側方に配置されている。薄膜コイルの第1層部分12bは、上部磁極層15の上に絶縁膜16を介して形成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁気的に連結され、且つ記録媒体に対向する側の一部が記録ギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を含み、それぞれ少なくとも 1 つの層からなる第 1 および第 2 の磁性層と、

前記第 1 および第 2 の磁性層に対して絶縁された状態で、一部が前記第 1 および第 2 の磁性層の間を通過し、且つ少なくとも一方の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備え、

前記第 1 の磁性層は、前記薄膜コイルの一部に対向する第 1 の部分と、前記第 1 の部分における前記第 2 の磁性層側の面に接続され、磁極部分を形成する第 2 の部分とを有し、

前記薄膜コイルの一部は、前記第 1 の磁性層の第 2 の部分の側方に配置されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 2】 前記薄膜コイルは、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された部分を有することを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 3】 前記第 2 の磁性層は、磁極部分を形成する磁極部分層と、この磁極部分層に接続され、ヨーク部分を形成するヨーク部分層とを有することを特徴とする請求項 1 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 4】 前記薄膜コイルは、前記第 1 の磁性層の第 2 の部分の側方を通過し、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第 1 の部分と、前記第 2 の磁性層の磁極部分層の側方を通過し、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第 2 の部分とを有することを特徴とする請求項 3 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 5】 前記薄膜コイルは、前記第 1 の磁性層の第 2 の部分の側方を通過し、前記第 1 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第 1 の部分と、前記第 2 の磁性層の磁極部分層の側方を通過し、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第 2 の部分とを有することを特徴とする請求項 3 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 6】 前記第 2 の磁性層のヨーク部分層の記録媒体に対向する側の端面は、薄膜磁気ヘッドの記録媒体に対向する面から離れた位置に配置されていることを特徴とする請求項 3 ないし 5 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 7】 前記第 1 の磁性層の第 2 の部分がスロットハイトを規定し、前記第 2 の磁性層が記録トラック幅を規定することを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 8】 更に、前記第 1 の磁性層の第 2 の部分の側方に配置された薄膜コイルの一部を覆い、前記記録ギャップ層側の面が平坦化された絶縁層を備えたことを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 9】 更に、磁気抵抗素子と、記録媒体に対向

する側の一部が前記磁気抵抗素子を挟んで対向するように配置され、前記磁気抵抗素子をシールドするための第 1 および第 2 のシールド層とを備えたことを特徴とする請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 10】 前記第 1 の磁性層は、前記第 2 のシールド層を兼ねていることを特徴とする請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 11】 磁気的に連結され、且つ記録媒体に対向する側の一部が記録ギャップ層を介して互いに対向する磁極部分を含み、それぞれ少なくとも 1 つの層からなる第 1 および第 2 の磁性層と、

前記第 1 および第 2 の磁性層に対して絶縁された状態で、一部が前記第 1 および第 2 の磁性層の間を通過する薄膜コイルとを備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第 1 の磁性層を形成する工程と、

前記第 1 の磁性層の上に、前記記録ギャップ層を形成する工程と、

前記記録ギャップ層の上に、前記第 2 の磁性層を形成する工程と、

前記第 1 および第 2 の磁性層に対して絶縁された状態で、一部が前記第 1 および第 2 の磁性層の間を通過し、

且つ少なくとも一方の磁性層を中心にして螺旋状に巻回されるように、前記薄膜コイルを形成する工程とを含み、

前記第 1 の磁性層を形成する工程は、前記薄膜コイルの一部に対向する第 1 の部分と、前記第 1 の部分における前記第 2 の磁性層側の面に接続され、磁極部分を形成する第 2 の部分とを形成し、

前記薄膜コイルを形成する工程は、前記薄膜コイルの一部が前記第 1 の磁性層の第 2 の部分の側方に配置されるように薄膜コイルを形成することを特徴とする薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 12】 前記薄膜コイルを形成する工程は、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された部分を有する薄膜コイルを形成することを特徴とする請求項 11 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 13】 前記第 2 の磁性層を形成する工程は、磁極部分を形成する磁極部分層と、この磁極部分層に接続され、ヨーク部分を形成するヨーク部分層とを形成することを特徴とする請求項 11 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 14】 前記薄膜コイルを形成する工程は、前記第 1 の磁性層の第 2 の部分の側方を通過し、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第 1 の部分と、前記第 2 の磁性層の磁極部分層の側方を通過し、前記第 2 の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第 2 の部分とを形成することを特徴とする請求項 13 記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項 15】 前記薄膜コイルを形成する工程は、前

記第1の磁性層の第2の部分の側方を通過し、前記第1の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第1の部分と、前記第2の磁性層の磁極部分層の側方を通過し、前記第2の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第2の部分とを形成することを特徴とする請求項13記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項16】 前記第2の磁性層を形成する工程は、前記第2の磁性層のヨーク部分層の記録媒体に対向する側の端面を、薄膜磁気ヘッドの記録媒体に対向する面から離れた位置に配置することを特徴とする請求項13ないし15のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項17】 前記第1の磁性層を形成する工程は、前記第2の部分がスロートハイトを規定するように、第1の磁性層を形成し、

前記第2の磁性層を形成する工程は、前記第2の磁性層が記録トラック幅を規定するように、第2の磁性層を形成することを特徴とする請求項11ないし16のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項18】 更に、前記第1の磁性層の第2の部分の側方に配置された薄膜コイルの一部を覆い、前記記録ギャップ層側の面が平坦化された絶縁層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項11ないし17のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項19】 更に、磁気抵抗素子と、記録媒体に対向する側の一部が前記磁気抵抗素子を挟んで対向するように配置され、前記磁気抵抗素子をシールドするための第1および第2のシールド層とを形成する工程を含むことを特徴とする請求項11ないし18のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項20】 前記第1の磁性層は、前記第2のシールド層を兼ねていることを特徴とする請求項11ないし19のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、少なくとも誘導型磁気変換素子を有する薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ハードディスク装置の面記録密度の向上に伴って、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。薄膜磁気ヘッドとしては、書き込み用の誘導型磁気変換素子を有する記録ヘッドと読み出し用の磁気抵抗（以下、MR（Magnetoresistive）とも記す。）素子を有する再生ヘッドとを積層した構造の複合型薄膜磁気ヘッドが広く用いられている。

【0003】ところで、記録ヘッドの性能のうち、記録密度を高めるには、磁気記録媒体におけるトラック密度を上げる必要がある。このためには、記録ギャップ層を挟んでその上下に形成された下部磁極および上部磁極の

エアベアリング面での幅を数ミクロンからサブミクロン寸法まで狭くした狭トラック構造の記録ヘッドを実現する必要がある、これを達成するために半導体加工技術が利用されている。

【0004】ここで、図14ないし図17を参照して、従来の薄膜磁気ヘッドの製造方法の一例として、複合型薄膜磁気ヘッドの製造方法の一例について説明する。なお、図14ないし図17において、（a）はエアベアリング面に垂直な断面を示し、（b）は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

【0005】この製造方法では、まず、図14に示したように、例えばアルティック（ $Al_2O_3 \cdot TiC$ ）よりなる基板101の上に、例えばアルミナ（ Al_2O_3 ）よりなる絶縁層102を、約5～10 μm 程度の厚みで堆積する。次に、絶縁層102の上に、磁性材料よりなる再生ヘッド用の下部シールド層103を形成する。

【0006】次に、下部シールド層103の上に、例えばアルミナを100～200nmの厚みにスパッタ堆積し、絶縁層としての下部シールドギャップ膜104を形成する。次に、下部シールドギャップ膜104の上に、再生用のMR素子105を、数十nmの厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜104の上に、MR素子105に電気的に接続される一対の電極層106を形成する。

【0007】次に、下部シールドギャップ膜104およびMR素子105の上に、絶縁層としての上部シールドギャップ膜107を形成し、MR素子105をシールドギャップ膜104、107内に埋設する。

【0008】次に、上部シールドギャップ膜107の上に、磁性材料からなり、再生ヘッドと記録ヘッドの双方に用いられる上部シールド層兼下部磁極層（以下、下部磁極層と記す。）108を、約3 μm の厚みに形成する。

【0009】次に、図15に示したように、下部磁極層108の上に、絶縁膜、例えばアルミナ膜よりなる記録ギャップ層109を0.2 μm の厚みに形成する。次に、磁路形成のために、記録ギャップ層109を部分的にエッチングして、コンタクトホール109aを形成する。次に、磁極部分における記録ギャップ層109の上に、記録ヘッド用の磁性材料よりなる上部磁極チップ110を、0.5～1.0 μm の厚みに形成する。このとき、同時に、磁路形成のためのコンタクトホール109aの上に、磁路形成のための磁性材料からなる磁性層119を形成する。

【0010】次に、図16に示したように、上部磁極チップ110をマスクとして、イオンミリングによって、記録ギャップ層109と下部磁極層108をエッチングする。図16（b）に示したように、上部磁極部分（上部磁極チップ110）、記録ギャップ層109および下部磁極層108の一部の各側壁が垂直に自己整合的に形

成された構造は、トリム (Trim) 構造と呼ばれる。

【0011】次に、全面に、例えばアルミナ膜よりなる絶縁層111を、約3 μ mの厚みに形成する。次に、この絶縁層111を、上部磁極チップ110および磁性層119の表面に至るまで研磨して平坦化する。

【0012】次に、平坦化された絶縁層111の上に、例えば銅 (Cu) よりなる誘導型の記録ヘッド用の第1層目の薄膜コイル112を形成する。次に、絶縁層111およびコイル112の上に、フォトレジスト層113を、所定のパターンに形成する。次に、フォトレジスト層113の表面を平坦にするために所定の温度で熱処理する。次に、フォトレジスト層113の上に、第2層目の薄膜コイル114を形成する。次に、フォトレジスト層113およびコイル114上に、フォトレジスト層115を、所定のパターンに形成する。次に、フォトレジスト層115の表面を平坦にするために所定の温度で熱処理する。

【0013】次に、図17に示したように、上部磁極チップ110、フォトレジスト層113、115および磁性層119の上に、記録ヘッド用の磁性材料、例えばパーマロイよりなる上部磁極層116を形成する。次に、上部磁極層116の上に、例えばアルミナよりなるオーバーコート層117を形成する。最後に、スライダの機械加工を行って、記録ヘッドおよび再生ヘッドのエアベアリング面118を形成して、薄膜磁気ヘッドが完成する。

【0014】図17において、THは、スロートハイトを表し、MR-Hは、MRハイトを表している。なお、スロートハイトとは、2つの磁極層が記録ギャップ層を介して対向する部分の、エアベアリング面側の端部から反対側の端部までの長さ (高さ) をいう。また、MRハイトとは、MR素子のエアベアリング面側の端部から反対側の端部までの長さ (高さ) をいう。また、図17において、P2Wは、磁極幅、すなわち記録トラック幅を表している。薄膜磁気ヘッドの性能を決定する要因として、スロートハイトやMRハイト等の他に、図17において θ で示したようなエイベックスアングル (Apex Angle) がある。このエイベックスアングルは、フォトレジスト層113、115で覆われて山状に盛り上がったコイル部分 (以下、エイベックス部と言う。) における磁極側の側面の角部を結ぶ直線と絶縁層111の上面とのなす角度をいう。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】 薄膜磁気ヘッドの性能を向上させるには、図17に示したようなスロートハイトTH、MRハイトMR-H、エイベックスアングル θ および記録トラック幅P2Wを正確に形成することが重要である。

【0016】特に、近年は、高面密度記録を可能とするため、すなわち、狭トラック構造の記録ヘッドを形成す

るために、トラック幅P2Wには1.0 μ m以下のサブミクロン寸法が要求されている。そのために半導体加工技術を利用して上部磁極をサブミクロン寸法に加工する技術が必要となる。

【0017】ここで、問題となるのは、エイベックス部の上に形成される上部磁極層を微細に形成することが困難なことである。

【0018】ところで、上部磁極層を形成する方法としては、例えば、特開平7-262519号公報に示されるように、フレイムめっき法が用いられる。フレイムめっき法を用いて上部磁極層を形成する場合は、まず、エイベックス部の上に全体的に、例えばパーマロイよりなる薄い電極膜を、例えばスパッタリングによって形成する。次に、その上にフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィ工程によりパターンニングして、めっきのためのフレイム (外枠) を形成する。そして、先に形成した電極膜をシード層として、めっき法によって上部磁極層を形成する。

【0019】ところが、エイベックス部と他の部分とでは、例えば7~10 μ m以上の高低差がある。このエイベックス部上に、フォトレジストを3~4 μ mの厚みで塗布する。エイベックス部上のフォトレジストの膜厚が最低3 μ m以上必要であるとする、流動性のあるフォトレジストは低い方に集まることから、エイベックス部の下方では、例えば8~10 μ m以上の厚みのフォトレジスト膜が形成される。

【0020】上述のようにサブミクロン寸法の記録トラック幅を実現するには、フォトレジスト膜によってサブミクロン寸法の幅のフレイムパターンを形成する必要がある。従って、エイベックス部上で、8~10 μ m以上の厚みのあるフォトレジスト膜によって、サブミクロン寸法の微細なパターンを形成しなければならない。ところが、このような厚い膜厚のフォトレジストパターンを狭パターン幅で形成することは製造工程上極めて困難であった。

【0021】しかも、フォトリソグラフィの露光時に、露光用の光が、シード層としての下地電極膜で反射し、この反射光によってもフォトレジストが感光して、フォトレジストパターンのくずれ等が生じ、シャープかつ正確なフォトレジストパターンが得られなくなる。

【0022】このように、従来は、磁極幅がサブミクロン寸法になると、上部磁性層を精度よく形成することが困難になるという問題点があった。

【0023】このようなことから、上述の従来例の図15ないし図17の工程でも示したように、記録ヘッドの狭トラックの形成に有効な上部磁極チップ110によって、1.0 μ m以下のトラック幅を形成した後、この上部磁極チップ110と接続されるヨーク部分となる上部磁極層116を形成する方法も採用されている (特開昭62-245509号公報、特開昭60-10409号

公報参照)。このように、通常の上部磁極層を、上部磁極チップ110とヨーク部分となる上部磁極層116とに分割することにより、トラック幅を決定する上部磁極チップ110を、記録ギャップ層109の上の平坦な面の上に、サブミクロン幅で微細に形成することが可能になる。

【0024】しかしながら、このような薄膜磁気ヘッドにおいても、依然として、以下のような問題点があった。

【0025】(1) まず、図17に示した従来の薄膜磁気ヘッドでは、上部磁極チップ110によって記録ヘッドのトラック幅が規定されるため、上部磁極層116は、上部磁極チップ110ほどには微細に加工する必要はないと言える。それでも、記録ヘッドのトラック幅が極微細、特に $0.5\mu\text{m}$ 以下になってくると、上部磁極層116においてもサブミクロン幅の加工精度が要求される。しかしながら、従来の薄膜磁気ヘッドでは、上部磁極層116はエイベックス部の上に形成されることから、前述の理由により、上部磁極層116を微細に形成することが困難であった。また、上部磁極層116は、幅の狭い上部磁極チップ110に対して磁気的に接続する必要があることから、上部磁極チップ110よりも広い幅に形成する必要があった。これらの理由から、従来の薄膜磁気ヘッドでは、上部磁極層116は上部磁極チップ110よりも広い幅に形成される。そのため、従来の薄膜磁気ヘッドでは、上部磁極層116側で書き込みが行われ、記録媒体に対して、本来、記録すべき領域以外の領域にもデータを書き込んでしまう、いわゆるサイドライトが発生するという不具合があった。このような不具合は、記録ヘッドの性能を向上させるためにコイルを2層や3層に形成した場合に、コイルを1層に形成する場合に比べてエイベックス部の高さが高くなり、より顕著になる。

【0026】(2) また、従来の磁気ヘッドでは、上部磁極チップ110のエアベアリング面118から遠い側の端部においてスロートハイトを決定している。しかし、この上部磁極チップ110の幅が狭くなると、フォトリソグラフィにおいて、パターンエッジが丸みを帯びて形成される。そのため、高精度な寸法を要求されるスロートハイトが不均一となり、エアベアリング面118の加工、研磨工程において、MR素子のトラック幅との間のバランスに欠ける事態が発生していた。例えば、トラック幅として、 $0.5\sim 0.6\mu\text{m}$ 必要なときに、上部磁極チップ110のエアベアリング面118から遠い側の端部がスロートハイトゼロ位置(スロートハイトを決定する絶縁層のエアベアリング面側の端部の位置)からエアベアリング面118側にずれ、大きく記録ギャップが開き、記録データの書き込みができなくなるという問題がしばしば発生していた。

【0027】上記(1)、(2)の問題点から、従来

は、記録ヘッドのトラック幅の縮小が難しかった。

【0028】(3) 更に、従来の薄膜磁気ヘッドでは、磁路長(Yoke Length)を短くすることが困難であるという問題点があった。すなわち、コイルピッチが小さいほど、磁路長の短いヘッドを実現することができ、特に高周波特性に優れた記録ヘッドを形成することができるが、コイルピッチを限りなく小さくしていった場合、スロートハイトゼロ位置からコイルの外周端までの距離が、磁路長を短くすることを妨げる大きな要因となっていた。磁路長は、1層のコイルよりは2層のコイルの方が短くできることから、多くの高周波用の記録ヘッドでは2層コイルを採用している。しかしながら、従来の磁気ヘッドでは、1層目のコイルを形成した後、コイル間の絶縁膜を形成するために、フォトレジスト膜を約 $2\mu\text{m}$ の厚みで形成している。そのため、1層目のコイルの外周端には丸みを帯びた小さなエイベックス部が形成される。次に、その上に2層目のコイルを形成するが、その際に、エイベックス部の傾斜部では、コイルのシード層のエッチングができず、コイルがショートするため、2層目のコイルは平坦部に形成する必要がある。

【0029】従って、例えば、コイルの厚みを $2\sim 3\mu\text{m}$ とし、コイル間絶縁膜の厚みを $2\mu\text{m}$ とし、エイベックスアングルを $45^\circ\sim 55^\circ$ とすると、磁路長としては、コイルに対応する部分の長さに加え、コイルの外周端からスロートハイトゼロ位置の近傍までの距離である $4\sim 5\mu\text{m}$ の距離の2倍(上部磁極層と下部磁極層とのコンタクト部からコイル内周端までの距離も $4\sim 5\mu\text{m}$ 必要。)の $8\sim 10\mu\text{m}$ が必要である。このコイルに対応する部分以外の長さが、磁路長の縮小を妨げる要因となっていた。

【0030】ここで、例えば、コイルの線幅が $1.0\mu\text{m}$ 、スペースが $1.0\mu\text{m}$ の11巻コイルを2層で形成する場合を考える。この場合、図17に示したように、1層目を6巻、2層目を5巻とすると、磁路長のうち、1層目のコイル112に対応する部分の長さは $11\mu\text{m}$ である。磁路長には、これに加え、1層目のコイル112の外周端および内周端より、1層目のコイル112を絶縁するためのフォトレジスト層113の端部までの距離として、合計 $8\sim 10\mu\text{m}$ の長さが必要になる。なお、本出願では、磁路長を、図17において符号L₀で示したように、磁極層のうちの磁極部分およびコンタクト部分を除いた部分の長さで表す。このように、従来は、磁路長の縮小が困難であり、これが高周波特性の改善を妨げていた。

【0031】ところで、図17に示した薄膜磁気ヘッドでは、コイルは、渦巻き状に巻回されている。これに対し、例えば米国特許第5,703,740号、特開昭48-55718号公報、特開昭60-113310号公報、特開昭63-201908号公報には、コイルを、磁極層を中心にして螺旋状(つる巻き状)に巻回した薄

膜磁気ヘッドが示されている。このようにコイルを螺旋状に巻回した構造によれば、コイルで発生した起磁力を効率よく磁極層に伝えることができるため、コイルを渦巻き状に巻回した構造に比べて、コイルの巻き数を少なくすることができ、その結果、磁路長の縮小が可能となる。

【0032】しかしながら、このようにコイルを螺旋状に巻回した構造の従来の薄膜磁気ヘッドにおいても、エイバックス部ができるため、依然として、上述のようにエイバックス部に起因する問題点が残っている。

【0033】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、誘導型磁気変換素子のトラック幅の縮小および磁路長の縮小を可能にした薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法を提供することにある。

【0034】

【課題を解決するための手段】本発明の薄膜磁気ヘッドは、磁気的に連結され、且つ記録媒体に対向する側の一部が記録ギャップ層を介して互に対向する磁極部分を含み、それぞれ少なくとも1つの層からなる第1および第2の磁性層と、第1および第2の磁性層に対して絶縁された状態で、一部が第1および第2の磁性層の間を通過し、且つ少なくとも一方の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された薄膜コイルとを備え、第1の磁性層は、薄膜コイルの一部に対向する第1の部分と、第1の部分における第2の磁性層側の面に接続され、磁極部分を形成する第2の部分とを有し、薄膜コイルの一部は、第1の磁性層の第2の部分の側方に配置されているものである。

【0035】本発明の薄膜磁気ヘッドの製造方法は、磁気的に連結され、且つ記録媒体に対向する側の一部が記録ギャップ層を介して互に対向する磁極部分を含み、それぞれ少なくとも1つの層からなる第1および第2の磁性層と、第1および第2の磁性層に対して絶縁された状態で、一部が第1および第2の磁性層の間を通過する薄膜コイルとを備えた薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、第1の磁性層を形成する工程と、第1の磁性層の上に、記録ギャップ層を形成する工程と、記録ギャップ層の上に、第2の磁性層を形成する工程と、第1および第2の磁性層に対して絶縁された状態で、一部が第1および第2の磁性層の間を通過し、且つ少なくとも一方の磁性層を中心にして螺旋状に巻回されるように、薄膜コイルを形成する工程とを含み、第1の磁性層を形成する工程は、薄膜コイルの一部に対向する第1の部分と、第1の部分における第2の磁性層側の面に接続され、磁極部分を形成する第2の部分とを形成し、薄膜コイルを形成する工程は、薄膜コイルの一部が第1の磁性層の第2の部分の側方に配置されるように薄膜コイルを形成するものである。

【0036】本発明の薄膜磁気ヘッドまたはその製造方法では、薄膜コイルは、一部が第1および第2の磁性層

の間を通過し、且つ少なくとも一方の磁性層を中心にして螺旋状（つる巻き状）に巻回されるように設けられる。これにより、磁路長の縮小が可能になる。また、本発明では、第1の磁性層は、薄膜コイルの一部に対向する第1の部分と、第1の部分における第2の磁性層側の面に接続され、磁極部分を形成する第2の部分とを有し、薄膜コイルの一部は、第1の磁性層の第2の部分の側方に配置される。これにより、第2の磁性層を平坦な面の上に形成することが可能となり、その結果、記録ヘッドのトラック幅の縮小が可能になる。

【0037】また、本発明の薄膜磁気ヘッドまたはその製造方法では、薄膜コイルは、例えば、第2の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された部分を有する。

【0038】また、本発明の薄膜磁気ヘッドまたはその製造方法では、第2の磁性層は、例えば、磁極部分を形成する磁極部分層と、この磁極部分層に接続され、ヨーク部分を形成するヨーク部分層とを有していてもよい。この場合、薄膜コイルは、第1の磁性層の第2の部分の側方を通過し、第2の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第1の部分と、第2の磁性層の磁極部分層の側方を通過し、第2の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第2の部分とを有していてもよい。あるいは、薄膜コイルは、第1の磁性層の第2の部分の側方を通過し、第1の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第1の部分と、第2の磁性層の磁極部分層の側方を通過し、第2の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第2の部分とを有していてもよい。また、第2の磁性層のヨーク部分層の記録媒体に対向する側の端面を、薄膜磁気ヘッドの記録媒体に対向する面から離れた位置に配置してもよい。

【0039】また、本発明の薄膜磁気ヘッドまたはその製造方法では、第1の磁性層の第2の部分がスロートハイトを規定し、第2の磁性層が記録トラック幅を規定するようにしてもよい。

【0040】また、本発明の薄膜磁気ヘッドまたはその製造方法では、更に、第1の磁性層の第2の部分の側方に配置された薄膜コイルの一部を覆い、記録ギャップ層側の面が平坦化された絶縁層を設けてもよい。

【0041】また、本発明の薄膜磁気ヘッドまたはその製造方法では、更に、磁気抵抗素子と、記録媒体に対向する側の一部が磁気抵抗素子を挟んで対向するように配置され、磁気抵抗素子をシールドするための第1および第2のシールド層とを設けてもよい。この場合、第1の磁性層は、第2のシールド層を兼ねていてもよい。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【第1の実施の形態】まず、図1ないし図7を参照して、本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法について説明する。なお、図1ないし図6において、(a)はエアベアリング面に垂直な断面

を示し、(b)は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

【0043】本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、まず、図1に示したように、例えばアルティック($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiC}$)よりなる基板1の上に、例えばアルミナ(Al_2O_3)よりなる絶縁層2を、約 $5\mu\text{m}$ の厚みで堆積する。次に、絶縁層2の上に、磁性材料、例えばパーマロイよりなる再生ヘッド用の下部シールド層3を、約 $3\mu\text{m}$ の厚みに形成する。下部シールド層3は、例えば、フォトレジスト膜をマスクにして、めっき法によって、絶縁層2の上に選択的に形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層20を、例えば $4\sim 6\mu\text{m}$ の厚みに形成し、例えばCMP(化学機械研磨)によって、下部シールド層3が露出するまで研磨して、表面を平坦化処理する。

【0044】次に、図2に示したように、下部シールド層3の上に、例えばアルミナまたはチ化アルミニウムをスパッタ堆積し、絶縁層としての下部シールドギャップ膜4を形成する。次に、下部シールドギャップ膜4の上に、再生用のMR素子5を、数十 nm の厚みに形成する。MR素子5は、例えば、スパッタによって形成したMR膜を選択的にエッチングすることによって形成する。なお、MR素子5には、AMR素子、GMR素子、あるいはTMR(トンネル磁気抵抗効果)素子等の磁気抵抗効果を示す感磁膜を用いた素子を用いることができる。次に、下部シールドギャップ膜4の上に、MR素子5に電氣的に接続される一対の電極層6を、数十 nm の厚みに形成する。次に、下部シールドギャップ膜4およびMR素子5の上に、絶縁層としての上部シールドギャップ膜7を形成し、MR素子5をシールドギャップ膜4、7内に埋設する。

【0045】次に、上部シールドギャップ膜7の上に、磁性材料からなり、再生ヘッドと記録ヘッドの双方に用いられる上部シールド層兼下部磁極層(以下、下部磁極層と記す。)の第1の部分8aを、約 $1.0\sim 2.0\mu\text{m}$ の厚みで、選択的に形成する。下部磁極層の第1の部分8aは、後述する薄膜コイルの一部に対向する。

【0046】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層9を、約 $3\sim 4\mu\text{m}$ の厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、下部磁極層の第1の部分8aが露出するまで、絶縁層9を研磨して、表面を平坦化処理する。

【0047】次に、図3に示したように、下部磁極層の第1の部分8aの上に、下部磁極層の第2の部分8bおよび第3の部分8cを、約 $1.5\sim 2.5\mu\text{m}$ の厚みに形成する。第2の部分8bは、下部磁極層の磁極部分を形成し、第1の部分8aの上部磁極層側の面に接続される。第3の部分8cは、第1の部分8aと上部磁極層とを接続するための部分である。本実施の形態において、第2の部分8bのエアベアリング面30とは反対側(図

において右側)の端部の位置は、スロートハイトを規定する。すなわち、この位置が、磁極部分のエアベアリング面30とは反対側の端部の位置であるスロートハイトゼロ位置となる。

【0048】下部磁極層の第2の部分8bおよび第3の部分8cは、NiFe(Ni:80重量%, Fe:20重量%)や、高飽和磁束密度材料であるNiFe(Ni:45重量%, Fe:55重量%)等を用い、めっき法によって所定のパターンに形成してもよいし、高飽和磁束密度材料であるFeN, FeZrN等の材料を用い、スパッタ後、イオンミリング等によって選択的にエッチングして所定のパターンに形成してもよい。この他にも、高飽和磁束密度材料であるCoFe, Co系モルファス材等を用いてもよい。

【0049】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁膜10を、約 $0.3\sim 0.6\mu\text{m}$ の厚みに形成する。

【0050】次に、図示しないが、絶縁膜10の上に、めっき法によって薄膜コイルの第1層部分を形成するためのシード層を、例えばスパッタによって形成する。次に、その上にフォトレジストを塗布し、フォトリソグラフィ工程によりパターンニングして、めっきのためのフレーム11を形成する。

【0051】次に、フレーム11を用いて、フレームめっき法によって、例えば銅(Cu)よりなる薄膜コイルの第1層部分12aを、例えば約 $1.0\sim 2.0\mu\text{m}$ の厚みに形成する。薄膜コイルの第1層部分12aは、下部磁極層の第2の部分8bの側方に配置される。また、薄膜コイルの第1層部分12aは、図3(a)における紙面に交差する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。

【0052】次に、図4に示したように、フレーム11とその下のシード層を除去した後、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層13を、約 $3\sim 4\mu\text{m}$ の厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、下部磁極層の第2の部分8bと第3の部分8cが露出するまで、絶縁層13を研磨して、表面を平坦化処理する。ここで、図4では、薄膜コイルの第1層部分12aは露出していないが、第1層部分12aが露出するようにしてもよい。

【0053】次に、図5に示したように、下部磁極層の第2の部分8bと第3の部分8c、および絶縁層13の上に、絶縁材料よりなる記録ギャップ層14を、例えば $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ の厚みに形成する。記録ギャップ層14に使用する絶縁材料としては、一般的に、アルミナ、窒化アルミニウム、シリコン酸化物系材料、シリコン窒化物系材料、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)等がある。

【0054】次に、磁路形成のために、下部磁極層の第3の部分8cの上において、記録ギャップ層14を部分的にエッチングしてコンタクトホールを形成する。

【0055】次に、記録ギャップ層14の上に、上部磁

極層 15 を、例えば約 2.0 ~ 3.0 μm の厚みに形成する。上部磁極層 15 は、NiFe (Ni: 80 重量%, Fe: 20 重量%) や、高飽和磁束密度材料である NiFe (Ni: 45 重量%, Fe: 55 重量%) 等を用い、めっき法によって所定のパターンに形成してもよいし、高飽和磁束密度材料である FeN, FeZrN 等の材料を用い、スパッタ後、イオンミリング等によって選択的にエッチングして所定のパターンに形成してもよい。この他にも、高飽和磁束密度材料である CoFe, Co 系アモルファス材等を用いてもよい。また、高周波特性の改善のため、上部磁極層 15 を、無機系の絶縁膜とパーマロイ等の磁性層とを何層にも重ね合わせた構造としてもよい。

【0056】次に、上部磁極層 15 をマスクとして、ドライエッチングにより、記録ギャップ層 14 を選択的にエッチングする。このときのドライエッチングには、例えば、BCl₂, Cl₂等の塩素系ガスや、CF₄, SF₆等のフッ素系ガス等のガスを用いた反応性イオンエッチング (RIE) が用いられる。次に、例えばアルゴンイオンミリングによって、下部磁極層の第 2 の部分 8b を選択的に約 0.3 ~ 0.6 μm 程度エッチングして、図 5 (b) に示したようなトリム構造とする。このトリム構造によれば、狭トラックの書き込み時に発生する磁束の広がりによる実効トラック幅の増加を防止することができる。

【0057】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁膜 16 を、約 0.3 ~ 0.9 μm の厚みに形成する。

【0058】次に、図示しないが、薄膜コイルの第 1 層部分 12a の各四角柱部分における両端部の上側の部分において、例えば反応性イオンエッチングやイオンミリングによって、絶縁膜 16、記録ギャップ層 14 および絶縁層 13 を貫通して薄膜コイルの第 1 層部分 12a に達するようなコンタクトホールを形成する。

【0059】次に、上部磁極層 15 の上に位置する絶縁膜 16 の上に、フレームめっき法によって、例えば銅

(Cu) よりなる薄膜コイルの第 2 層部分 12b を、例えば約 1.0 ~ 2.0 μm の厚みに形成する。薄膜コイルの第 2 層部分 12b は、図 5 (a) における紙面に直交する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。この薄膜コイルの第 2 層部分 12b の各四角柱部分における両端部は、上記のコンタクトホールに薄膜コイルの材料が充填されて形成される連結部を介して、薄膜コイルの第 1 層部分 12a の各四角柱部分における両端部に接続される。

【0060】次に、図 6 に示したように、全体に、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 17 を、例えば 20 ~ 40 μm の厚みに形成し、その表面を平坦化して、その上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、スライダの研磨加工を行って、記録ヘッドおよび再生ヘッドのエアベアリング面 30 を形成して、本実施の

形態に係る薄膜磁気ヘッドが完成する。

【0061】本実施の形態では、第 1 の部分 8a、第 2 の部分 8b および第 3 の部分 8c よりなる下部磁極層が、本発明における第 1 の磁性層に対応し、上部磁極層 15 が、本発明における第 2 の磁性層に対応する。また、下部シールド層 3 は、本発明における第 1 のシールド層に対応する。また、下部磁極層は、上部シールド層を兼ねているので、本発明における第 2 のシールド層にも対応する。

【0062】図 7 は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの平面図である。なお、この図では、オーバーコート層 17 や、その他の絶縁層および絶縁膜を省略している。なお、図 7 において、図中、符号 8B は、トリム構造とするために下部磁極層の第 2 の部分 8b がエッチングされている部分を表している。

【0063】図 7 に示したように、上部磁極層 15 は、記録ギャップ層 14 を介して下部磁極層の第 2 の部分 8b に対向する位置に配置された磁極部分 15A と、薄膜コイルの第 1 層部分 12a に対向する領域に配置されると共に磁極部分 15A に連結されたヨーク部分 15B とを有している。磁極部分 15A とヨーク部分 15B との連結部の位置は、スロートハイトゼロ位置 TH0 またはその近傍の位置になっている。磁極部分 15A は狭い一定の幅を有している。この磁極部分 15A の幅が記録ヘッドのトラック幅を規定する。

【0064】また、図 7 において、符号 12 は、第 1 層部分 12a と、第 2 層部分 12b と、これらを連結する連結部 12c とを含む薄膜コイルを表している。薄膜コイル 12 の第 1 層部分 12a と第 2 層部分 12b は、連結部 12c を介してジグザク形に連結されている。これにより、薄膜コイル 12 は、上部磁極層 15 のヨーク部分 15B を中心にして螺旋状に巻回される。

【0065】以上説明したように、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドは、再生ヘッドと記録ヘッド (誘導型磁気変換素子) とを備えている。再生ヘッドは、MR 素子 5 と、記録媒体に対向する側の一部が MR 素子 5 を挟んで対向するように配置され、MR 素子 5 をシールドするための下部シールド層 3 および上部シールド層 (下部磁極層) とを有している。

【0066】記録ヘッドは、磁氣的に連結され、且つ記録媒体に対向する側の一部が記録ギャップ層 14 を介して互いに対向する磁極部分を含み、それぞれ少なくとも 1 つの層からなる下部磁極層 (8a ~ 8c) および上部磁極層 15 と、これらに対して絶縁された状態で、一部が下部磁極層および上部磁極層 15 の間を通過し、且つ上部磁極層 15 を中心にして螺旋状に巻回された薄膜コイル 12 とを有している。

【0067】本実施の形態では、下部磁極層は、薄膜コイルの第 1 層部分 12a に対向する第 1 の部分 8a と、この第 1 の部分 8a における上部磁極層 15 側の面に接

続され、磁極部分を形成する第2の部分8bとを有し、薄膜コイル12の第1層部分12aは、下部磁極層の第2の部分8bの側方に配置されている。

【0068】本実施の形態によれば、薄膜コイル12を、上部磁極層15を中心にして螺旋状に巻回したので、薄膜コイル12で発生した起磁力を効率よく上部磁極層15に伝えることができる。そのため、薄膜コイルを渦巻き状に巻回した構造に比べて、薄膜コイル12の巻き数を少なくすることができる。

【0069】更に、本実施の形態では、薄膜コイル12の第1層部分12aを、下部磁極層の第1の部分8aの上であって第2の部分8bの側方に配置し、薄膜コイル12の第1層部分12aを覆う絶縁層13の上面を平坦化し、上部磁極層15を平坦な面の上に形成している。そのため、薄膜コイル12の第1層部分12aと第2層部分12bの双方を、平坦な面の上に形成することができる。これにより、薄膜コイル12を微細に形成することが可能になる。

【0070】更に、本実施の形態によれば、エイベックス部が存在しないので、スロートハイトゼロ位置TH0の近くに、薄膜コイル12の端部を配置することができる。

【0071】これらのことから、本実施の形態によれば、例えば従来に比べて30～50%以下程度に、磁路長の縮小が可能となる。更に、薄膜コイル12で発生した起磁力が途中で飽和することを防止でき、薄膜コイル12で発生した起磁力を効率よく記録に利用することができる。従って、本実施の形態によれば、記録ヘッドの高周波特性や、非線形トランジションシフト(Non-linear Transition Shift; 以下、NLTSと記す。)や、重ね書きする場合の特性であるオーバーライト特性の優れた薄膜磁気ヘッドを提供することが可能となる。

【0072】また、本実施の形態によれば、薄膜コイル12の第1層部分12aを、下部磁極層の第1の部分8aの上であって第2の部分8bの側方に配置し、薄膜コイル12の第1層部分12aを覆う絶縁層13の上面を平坦化したので、記録ヘッドのトラック幅を規定する上部磁極層15を平坦な面の上に形成することができる。そのため、本実施の形態によれば、上部磁極層15の磁極部分15Aを、例えばハーフミクロン寸法やクォータミクロン寸法にも微細に形成可能となり、記録ヘッドのトラック幅の縮小が可能となる。これにより、今後要求される20～30ギガビット/(インチ)²の面記録密度を有する薄膜磁気ヘッドも実現可能となる。

【0073】また、本実施の形態では、記録ヘッドのトラック幅を規定する上部磁極層15がスロートハイトを規定するのではなく、下部磁極層の第2の部分8bがスロートハイトを規定する。従って、本実施の形態によれば、トラック幅が小さくなくても、スロートハイトを精度よく、均一に規定することが可能となる。

【0074】また、本実施の形態では、下部磁極層の第2の部分8bの側方に配置された薄膜コイル12の第1層部分12aを覆う絶縁層13を設け、この絶縁層13の上面を平坦化したので、その後に形成される記録ギャップ層14、上部磁極層15、薄膜コイル12の第2層部分12b等の形成が容易になる。

【0075】また、本実施の形態では、下部磁極層と、薄膜コイル12の第1層部分12aの間に、薄く且つ十分な絶縁耐圧が得られる無機材料よりなる絶縁膜10が設けられるので、下部磁極層と薄膜コイル12の第1層部分12aとの間に大きな絶縁耐圧を得ることができる。

【0076】また、本実施の形態では、図7に示したように、上部磁極層15は、スロートハイトゼロ位置TH0またはその近傍の位置よりもエアベアリング面30とは反対側の部分では、例えば3μm以上の一定の幅を有し、スロートハイトゼロ位置TH0またはその近傍の位置よりもエアベアリング面30側の部分では、ハーフミクロン寸法やクォータミクロン寸法の一定の幅を有している。そのため、上部磁極層15を通過する磁束は、スロートハイトゼロ位置TH0またはその近傍の位置よりもエアベアリング面30とは反対側の部分では飽和せず、スロートハイトゼロ位置TH0またはその近傍の位置よりもエアベアリング面30側の部分で飽和する。これにより、NLTSやオーバーライト特性を向上させることができる。

【0077】[第2の実施の形態] 次に、図8ないし図10を参照して、本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法について説明する。なお、図8および図9において、(a)はエアベアリング面に垂直な断面を示し、(b)は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

【0078】本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドは、薄膜コイルが、上部磁極層を中心にして螺旋状に2重に巻回されたものである。本実施の形態では、この薄膜コイルのうち、外側の部分を第1の部分といい、内側の部分を第2の部分という。なお、薄膜コイルの第1の部分と第2の部分は、いずれも、例えば銅によって形成される。

【0079】本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、絶縁膜10を形成する工程までは、第1の実施の形態と同様である。図8に示したように、本実施の形態では、その後、絶縁膜10の上に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分21aを、例えば約1.0～2.0μmの厚みに形成する。薄膜コイルの第1の部分の第1層部分21aは、下部磁極層の第2の部分8bの側方に配置される。また、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分21aは、図8(a)における紙面に交差する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。

【0080】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層13を、約3~4 μ mの厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、下部磁極層の第2の部分8bと第3の部分8cが露出するまで、絶縁層13を研磨して、表面を平坦化処理する。ここで、図8では、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分21aは露出していないが、第1層部分21aが露出するようにしてもよい。

【0081】次に、下部磁極層の第2の部分8bと第3の部分8c、および絶縁層13の上に、記録ギャップ層14を例えば0.2~0.3 μ mの厚みに形成する。次に、下部磁極層の第3の部分8cの上において、記録ギャップ層14を部分的にエッチングしてコンタクトホールを形成する。

【0082】次に、記録ギャップ層14の上に、上部磁極層の磁極部分を形成する磁極部分層15aを1.0~3.0 μ mの厚みに形成すると共に、下部磁極層の第3の部分8cの上に形成されたコンタクトホールの位置に、磁性層15bを1.0~3.0 μ mの厚みに形成する。磁性層15bは、後述する上部磁極層のヨーク部分層と下部磁極層とを接続するための部分である。本実施の形態では、上部磁極層の磁極部分層15aの長さは、下部磁極層の第2の部分8bの長さ以上に形成される。

【0083】上部磁極層の磁極部分層15aおよび磁性層15bは、NiFe (Ni:80重量%, Fe:20重量%)や、高飽和磁束密度材料であるNiFe (Ni:45重量%, Fe:55重量%)等を用い、めっき法によって所定のパターンに形成してもよいし、高飽和磁束密度材料であるFeN, FeZrN等の材料を用い、スパッタ後、イオンミリング等によって選択的にエッチングして所定のパターンに形成してもよい。この他にも、高飽和磁束密度材料であるCoFe, Co系アモルファス材等を用いてもよい。

【0084】次に、上部磁極層の磁極部分層15aをマスクとして、ドライエッチングにより、記録ギャップ層14を選択的にエッチングし、次に、例えばアルゴンイオンミリングによって、下部磁極層の第2の部分8bを選択的に約0.3~0.6 μ m程度エッチングして、図8(b)に示したようなトリム構造とする。

【0085】次に、記録ギャップ層14の上のコイル形成領域に、例えばアルミナよりなる絶縁膜22を、約0.3~0.6 μ mの厚みに形成する。

【0086】次に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第2の部分の第1層部分23aを、例えば約1.0~2.0 μ mの厚みに形成する。薄膜コイルの第2の部分の第1層部分23aは、上部磁極層の磁極部分層15aの側方に配置される。また、薄膜コイルの第2の部分の第1層部分23aは、図8(a)における紙面に交差する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。

【0087】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層24を、約3~4 μ mの厚みに形成する。次に、例

えばCMPによって、上部磁極層の磁極部分層15aおよび磁性層15bが露出するまで、絶縁層24を研磨して、表面を平坦化処理する。

【0088】次に、図9に示したように、平坦化された上部磁極層の磁極部分層15aおよび磁性層15bと絶縁層24の上に、上部磁極層のヨーク部分を形成するヨーク部分層15cを、例えば約2~4 μ mの厚みに形成する。このヨーク部分層15cは、磁性層15bを介して、下部磁極層の第3の部分8cと接触し、磁氣的に連結している。上部磁極層のヨーク部分層15cは、NiFe (Ni:80重量%, Fe:20重量%)や、高飽和磁束密度材料であるNiFe (Ni:45重量%, Fe:55重量%)等を用い、めっき法によって所定のパターンに形成してもよいし、高飽和磁束密度材料であるFeN, FeZrN等の材料を用い、スパッタ後、イオンミリング等によって選択的にエッチングして所定のパターンに形成してもよい。この他にも、高飽和磁束密度材料であるCoFe, Co系アモルファス材等を用いてもよい。また、高周波特性の改善のため、上部磁極層15を、無機系の絶縁膜とパーマロイ等の磁性層とを何層にも重ね合わせた構造としてもよい。

【0089】本実施の形態では、上部磁極層のヨーク部分層15cの記録媒体に対向する側(エアベアリング面30側)の端面は、薄膜磁気ヘッドの記録媒体に対向する面から離れた位置(図において右側)に配置されている。

【0090】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁膜25を、約0.3~0.9 μ mの厚みに形成する。

【0091】次に、図示しないが、薄膜コイルの第2の部分の第1層部分23aの各四角柱部分における両端部の上側の部分において、例えば反応性イオンエッチングやイオンミリングによって、絶縁膜25および絶縁層24を貫通して薄膜コイルの第2の部分の第1層部分23aに達するようなコンタクトホールを形成する。

【0092】次に、上部磁極層のヨーク部分層15cの上に位置する絶縁膜25の上に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第2の部分の第2層部分23bを、例えば約1.0~2.0 μ mの厚みに形成する。薄膜コイルの第2の部分の第2層部分23bは、図9(a)における紙面に直交する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。この薄膜コイルの第2の部分の第2層部分23bの各四角柱部分における両端部は、上記のコンタクトホールに薄膜コイルの材料が充填されて形成される連結部を介して、薄膜コイルの第2の部分の第1層部分23aの各四角柱部分における両端部に接続される。

【0093】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層26を、例えば約6~8 μ mの厚みに形成し、その表面を平坦化する。

【0094】次に、図示しないが、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分21aの各四角柱部分における両端部

の上側の部分において、例えば反応性イオンエッチングやイオンミリングによって、絶縁膜 26、絶縁膜 25、記録ギャップ層 14 および絶縁層 13 を貫通して薄膜コイルの第 1 の部分の第 1 層部分 21 a に達するようなコンタクトホールを形成する。

【0095】次に、絶縁層 26 の上に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第 1 の部分の第 2 層部分 21 b を、例えば約 1.0 ~ 2.0 μm の厚みに形成する。薄膜コイルの第 1 の部分の第 2 層部分 21 b は、図 9

(a) における紙面に直交する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。この薄膜コイルの第 1 の部分の第 2 層部分 21 b の各四角柱部分における両端部は、上記のコンタクトホールに薄膜コイルの材料が充填されて形成される連結部を介して、薄膜コイルの第 1 の部分の第 1 層部分 21 a の各四角柱部分における両端部に接続される。

【0096】次に、全体に、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 17 を、例えば 20 ~ 40 μm の厚みに形成し、その表面を平坦化して、その上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、スライダの研磨加工を行って、記録ヘッドおよび再生ヘッドのエアベアリング面 30 を形成して、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドが完成する。

【0097】本実施の形態では、磁極部分層 15 a、磁性層 15 b およびヨーク部分層 15 c よりなる上部磁極層が、本発明における第 2 の磁性層に対応する。

【0098】図 10 は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの平面図である。この図では、オーバーコート層や、その他の絶縁層および絶縁膜を省略している。この図において、符号 21 は、第 1 層部分 21 a と、第 2 層部分 21 b と、これらを連結する連結部 21 c とを含む薄膜コイルの第 1 の部分を表している。また、符号 23 は、第 1 層部分 23 a と、第 2 層部分 23 b と、これらを連結する連結部 23 c とを含む薄膜コイルの第 2 の部分を表している。薄膜コイルの第 1 の部分 21 の第 1 層部分 21 a と第 2 層部分 21 b は、連結部 21 c を介してジグザク形に連結されている。これにより、薄膜コイルの第 1 の部分 21 は、上部磁極層のヨーク部分層 15 c を中心にして螺旋状に巻回される。同様に、薄膜コイルの第 2 の部分 23 の第 1 層部分 23 a と第 2 層部分 23 b は、連結部 23 c を介してジグザク形に連結されている。これにより、薄膜コイルの第 2 の部分 23 は、上部磁極層のヨーク部分層 15 c を中心にして螺旋状に巻回される。

【0099】また、薄膜コイルの第 1 の部分 21 と第 2 の部分 23 は、連結部 29 によって連結される。連結部 29 は、絶縁膜 25、記録ギャップ層 14 および絶縁層 13 を貫通して薄膜コイルの第 1 の部分 21 の第 1 層部分 21 a に達するようなコンタクトホールに、薄膜コイルの材料が充填されて形成される。

【0100】図 9 に示したように、薄膜コイルの第 1 の部分 21 の第 1 層部分 21 a は、下部磁極層の第 2 の部分 8 b の側方を通過する。また、薄膜コイルの第 2 の部分 23 の第 1 層部分 23 a は、上部磁極層の磁極部分層 15 a の側方を通過する。

【0101】本実施の形態によれば、上部磁極層を中心にして 2 重に巻回された薄膜コイル 21, 23 を設けたので、第 1 の実施の形態に比べて、薄膜コイルの起磁力を大きくすることができ、NLTS やオーバーライト特性をより向上させることができる。

【0102】また、本実施の形態によれば、薄膜コイルの第 1 の部分 21 の第 1 層部分 21 a を下部磁極層の第 2 の部分 8 b の側方に配置し、この第 1 層部分 21 a を覆う絶縁層 13 の上面を平坦化したので、上部磁極層の磁極部分層 15 a を平坦な面の上に形成することができる。従って、本実施の形態によれば、磁極部分層 15 a を、例えばハーフミクロン寸法やクォータミクロン寸法にも微細に形成可能となり、記録ヘッドのトラック幅の縮小が可能となる。

【0103】また、本実施の形態では、2 重に巻回された薄膜コイル 21, 23 を設けているが、薄膜コイルの第 1 の部分 21 の第 1 層部分 21 a を下部磁極層の第 2 の部分 8 b の側方に配置すると共に、薄膜コイルの第 2 の部分 23 の第 1 層部分 23 a を上部磁極層の磁極部分層 15 a の側方に配置したので、上部磁極層のヨーク部分層 15 c を、平坦な面の上に形成することができる。そのため、本実施の形態によれば、ヨーク部分層 15 c も微細に形成可能となり、いわゆるサイドライトの発生を防止することが可能となる。

【0104】また、本実施の形態では、上部磁極層のヨーク部分層 15 c のエアベアリング面 30 側の端面を、薄膜磁気ヘッドのエアベアリング面 30 から離れた位置に配置している。そのため、スロートハイトが小さい場合でも、上部磁極層のヨーク部分層 15 c がエアベアリング面 30 に露出することがなく、その結果、サイドライトの発生を防止することができる。

【0105】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

【0106】[第 3 の実施の形態] 次に、図 11 ないし図 13 を参照して、本発明の第 3 の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドおよびその製造方法について説明する。なお、図 11 および図 12 において、(a) はエアベアリング面に垂直な断面を示し、(b) は磁極部分のエアベアリング面に平行な断面を示している。

【0107】本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドは、薄膜コイルが、下部磁極層を中心にして螺旋状に巻回された第 1 の部分と上部磁極層を中心にして螺旋状に巻回された第 2 の部分とを有するものである。なお、薄膜コイルの第 1 の部分と第 2 の部分は、いずれも、例えば銅によって形成される。

【0108】本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法では、下部シールドギャップ膜4、MR素子5および上部シールドギャップ膜7を形成する工程までは、第1の実施の形態と同様である。図11に示したように、本実施の形態では、その後、MR素子5の上に位置する上部シールドギャップ膜7の上に、磁性材料からなる磁性層8dを、例えば約1~2 μ mの厚みに形成する。この磁性層8dは、下部シールド層の一部をなす。次に、例えば反応性イオンエッチングやイオンミリングによって、薄膜コイルを形成する領域において、シールドギャップ膜4、7をエッチングすると共に、下部シールド層3を例えば約1~2 μ mエッチングして、凹部を形成する。

【0109】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁膜31を、約0.3~0.6 μ mの厚みに形成する。次に、絶縁膜31の上に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分32aを、例えば約1.0~2.0 μ mの厚みに形成する。薄膜コイルの第1の部分の第1層部分32aは、図11(a)における紙面に交差する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。

【0110】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層33を、約3~4 μ mの厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、磁性層8dが露出するまで、絶縁層33を研磨して、表面を平坦化処理する。

【0111】次に、図12に示したように、磁性層8dおよび絶縁層33の上に、下部磁極層の第1の部分8aを、約1.0~2.0 μ mの厚みで、選択的に形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層9を、約3~4 μ mの厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、下部磁極層の第1の部分8aが露出するまで、絶縁層9を研磨して、表面を平坦化処理する。

【0112】次に、下部磁極層の第1の部分8aの上に、下部磁極層の第2の部分8bおよび第3の部分8cを、約1.5~2.5 μ mの厚みに形成する。次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁膜10を、約0.3~0.6 μ mの厚みに形成する。

【0113】次に、図示しないが、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分32aの各四角柱部分における両端部の上側の部分において、例えば反応性イオンエッチングやイオンミリングによって、絶縁膜10および絶縁層33を貫通して薄膜コイルの第1の部分の第1層部分32aに達するようなコンタクトホールを形成する。

【0114】次に、絶縁膜10の上に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第1の部分の第2層部分32bを、例えば約1.0~2.0 μ mの厚みに形成する。薄膜コイルの第1の部分の第2層部分32bは、下部磁極層の第2の部分8bの側方に配置される。また、薄膜コイルの第1の部分の第2層部分32bは、図12

(a)における紙面に直交する方向に延びる複数の四角

柱状の部分からなる。この薄膜コイルの第1の部分の第2層部分32bの各四角柱部分における両端部は、上記のコンタクトホールに薄膜コイルの材料が充填されて形成される連結部を介して、薄膜コイルの第1の部分の第1層部分32aの各四角柱部分における両端部に接続される。

【0115】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層13を、約3~4 μ mの厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、下部磁極層の第2の部分8bと第3の部分8cが露出するまで、絶縁層13を研磨して、表面を平坦化処理する。ここで、図12では、薄膜コイルの第1の部分の第2層部分32bは露出していないが、第2層部分32bが露出するようにしてもよい。

【0116】次に、下部磁極層の第2の部分8bと第3の部分8c、および絶縁層13の上に、記録ギャップ層14を例えば0.2~0.3 μ mの厚みに形成する。次に、下部磁極層の第3の部分8cの上において、記録ギャップ層14を部分的にエッチングしてコンタクトホールを形成する。

【0117】次に、記録ギャップ層14の上に、上部磁極層の磁極部分を形成する磁極部分層15aを1.0~3.0 μ mの厚みに形成すると共に、下部磁極層の第3の部分8cの上に形成されたコンタクトホールの位置に、磁性層15bを1.0~3.0 μ mの厚みに形成する。

【0118】次に、上部磁極層の磁極部分層15aをマスクとして、ドライエッチングにより、記録ギャップ層14を選択的にエッチングし、次に、例えばアルゴンイオンミリングによって、下部磁極層の第2の部分8bを選択的に約0.3~0.6 μ m程度エッチングして、図12(b)に示したようなトリム構造とする。

【0119】次に、記録ギャップ層14の上のコイル形成領域に、例えばアルミナよりなる絶縁膜22を、約0.3~0.6 μ mの厚みに形成する。次に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第2の部分の第1層部分34aを、例えば約1.0~2.0 μ mの厚みに形成する。薄膜コイルの第2の部分の第1層部分34aは、上部磁極層の磁極部分層15aの側方に配置される。また、薄膜コイルの第2の部分の第1層部分34aは、図12(a)における紙面に交差する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。

【0120】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁層24を、約3~4 μ mの厚みに形成する。次に、例えばCMPによって、上部磁極層の磁極部分層15aおよび磁性層15bが露出するまで、絶縁層24を研磨して、表面を平坦化処理する。

【0121】次に、平坦化された上部磁極層の磁極部分層15aおよび磁性層15bと絶縁層24の上に、上部磁極層のヨーク部分を形成するヨーク部分層15cを、例えば約2~4 μ mの厚みに形成する。

【0122】次に、全体に、例えばアルミナよりなる絶縁膜 25 を、約 0.3 ~ 0.9 μm の厚みに形成する。

【0123】次に、図示しないが、薄膜コイルの第 2 の部分の第 1 層部分 34 a の各四角柱部分における両端部の上側の部分において、例えば反応性イオンエッチングやイオンミリングによって、絶縁膜 25 および絶縁層 24 を貫通して薄膜コイルの第 2 の部分の第 1 層部分 34 a に達するようなコンタクトホールを形成する。

【0124】次に、上部磁極層のヨーク部分層 15 c の上に位置する絶縁膜 25 の上に、フレームめっき法によって、薄膜コイルの第 2 の部分の第 2 層部分 34 b を、例えば約 1.0 ~ 2.0 μm の厚みに形成する。薄膜コイルの第 2 の部分の第 2 層部分 34 b は、図 12 (a) における紙面に直交する方向に延びる複数の四角柱状の部分からなる。この薄膜コイルの第 2 の部分の第 2 層部分 34 b の各四角柱部分における両端部は、上記のコンタクトホールに薄膜コイルの材料が充填されて形成される連結部を介して、薄膜コイルの第 2 の部分の第 1 層部分 34 a の各四角柱部分における両端部に接続される。

【0125】次に、全体に、例えばアルミナよりなるオーバーコート層 27 を、例えば 20 ~ 40 μm の厚みに形成し、その表面を平坦化して、その上に、図示しない電極用パッドを形成する。最後に、スライダの研磨加工を行って、記録ヘッドおよび再生ヘッドのエアベアリング面を形成して、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドが完成する。

【0126】図 13 は、本実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの平面図である。この図では、オーバーコート層や、その他の絶縁層および絶縁膜を省略している。この図において、符号 32 は、第 1 層部分 32 a と、第 2 層部分 32 b と、これらを連結する連結部 32 c とを含む薄膜コイルの第 1 の部分を表している。なお、図 13 では、薄膜コイルの第 1 の部分 32 の一部を省略している。また、符号 34 は、第 1 層部分 34 a と、第 2 層部分 34 b と、これらを連結する連結部 34 c とを含む薄膜コイルの第 2 の部分を表している。薄膜コイルの第 1 の部分 32 の第 1 層部分 32 a と第 2 層部分 32 b は、連結部 32 c を介してジグザク形に連結されている。これにより、薄膜コイルの第 1 の部分 32 は、下部磁極層の第 1 の部分 8 a を中心にして螺旋状に巻回される。同様に、薄膜コイルの第 2 の部分 34 の第 1 層部分 34 a と第 2 層部分 34 b は、連結部 34 c を介してジグザク形に連結されている。これにより、薄膜コイルの第 2 の部分 34 は、上部磁極層のヨーク部分層 15 c を中心にして螺旋状に巻回される。

【0127】また、薄膜コイルの第 1 の部分 32 と第 2 の部分 34 は、連結部 39 によって連結される。連結部 39 は、絶縁膜 25、記録ギャップ層 14 および絶縁層 13 を貫通して薄膜コイルの第 1 の部分 32 の第 2 層部分 32 b に達するようなコンタクトホールに、薄膜コイ

ルの材料が充填されて形成される。

【0128】図 12 に示したように、薄膜コイルの第 1 の部分 32 の第 2 層部分 32 b は、下部磁極層の第 2 の部分 8 b の側方を通過する。また、薄膜コイルの第 2 の部分 34 の第 1 層部分 34 a は、上部磁極層の磁極部分層 15 a の側方を通過する。

【0129】本実施の形態によれば、薄膜コイルが、下部磁極層を中心にして螺旋状に巻回された第 1 の部分 32 と上部磁極層を中心にして螺旋状に巻回された第 2 の部分 34 とを有するので、第 1 の実施の形態に比べて、薄膜コイルの起磁力を大きくすることができ、NLT S やオーバーライト特性をより向上させることができる。

【0130】本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 1 または第 2 の実施の形態と同様である。

【0131】本発明は、上記各実施の形態に限定されず、種々の変更が可能である。例えば、上記各実施の形態では、下部磁極層によってスロートハイトを規定するようにしたが、上部磁極層によってスロートハイトを規定するようにしてもよい。

【0132】また、上記各実施の形態では、基体側に読み取り用の MR 素子を形成し、その上に、書き込み用の誘導型磁気変換素子を積層した構造の薄膜磁気ヘッドについて説明したが、この積層順序を逆にしてもよい。

【0133】つまり、基体側に書き込み用の誘導型磁気変換素子を形成し、その上に、読み取り用の MR 素子を形成してもよい。このような構造は、例えば、上記実施の形態に示した上部磁極層の機能を有する磁性膜を下部磁極層として基体側に形成し、記録ギャップ膜を介して、それに対向するように上記実施の形態に示した下部磁極層の機能を有する磁性膜を上部磁極層として形成することにより実現できる。この場合、誘導型磁気変換素子の上部磁極層と MR 素子の下部シールド層を兼用させることが好ましい。

【0134】また、本発明は、誘導型磁気変換素子のみを備えた記録専用の薄膜磁気ヘッドや、誘導型磁気変換素子によって記録と再生を行う薄膜磁気ヘッドにも適用することができる。

【0135】

【発明の効果】以上説明したように請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドまたは請求項 11 ないし 20 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、薄膜コイルは、一部が第 1 および第 2 の磁性層の間を通過し、且つ少なくとも一方の磁性層を中心にして螺旋状に巻回されるので、誘導型磁気変換素子の磁路長の縮小が可能になるという効果を奏する。また、本発明によれば、第 1 の磁性層は、薄膜コイルの一部に対向する第 1 の部分と、第 1 の部分における第 2 の磁性層側の面に接続され、磁極部分を形成する第 2 の部分とを有し、薄膜コイルの一部は、第 1 の磁性層の第 2 の部分

の側方に配置されるので、第2の磁性層を平坦な面上に形成することが可能となり、その結果、誘導型磁気変換素子のトラック幅の縮小が可能になるという効果を奏する。

【0136】また、請求項4記載の薄膜磁気ヘッドまたは請求項14記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、薄膜コイルが、第2の磁性層を中心にして螺旋状に2重に巻回されるので、更に、薄膜コイルの起磁力を大きくすることが可能になるという効果を奏する。

【0137】また、請求項5記載の薄膜磁気ヘッドまたは請求項15記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、薄膜コイルが、第1の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第1の部分と第2の磁性層を中心にして螺旋状に巻回された第2の部分とを有するので、更に、薄膜コイルの起磁力を大きくすることが可能になるという効果を奏する。

【0138】また、請求項6記載の薄膜磁気ヘッドまたは請求項16記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、第2の磁性層が、磁極部分を形成する磁極部分層と、この磁極部分層に接続され、ヨーク部分を形成するヨーク部分層とを有し、第2の磁性層のヨーク部分層の記録媒体に対向する側の端面を、薄膜磁気ヘッドの記録媒体に対向する面から離れた位置に配置したので、更に、記録すべき領域以外の領域にもデータを書き込んでしまうことを防止することができるという効果を奏する。

【0139】また、請求項7記載の薄膜磁気ヘッドまたは請求項17記載の薄膜磁気ヘッドの製造方法によれば、第1の磁性層の第2の部分がスロートハイトを規定し、第2の磁性層が記録トラック幅を規定するようにしたので、更に、トラック幅が小さくなっても、スロートハイトを精度よく、均一に規定することが可能になるという効果を奏する。

【0140】また、請求項8記載の薄膜磁気ヘッドまたは請求項18記載の薄膜磁気ヘッドによれば、第1の磁性層の第2の部分の側方に配置された薄膜コイルの一部を覆い、記録ギャップ層側の面が平坦化された絶縁層を設けたので、更に、記録ギャップ層や第2の磁性層等の形成が容易になるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図で

ある。

【図2】図1に続く工程を説明するための断面図である。

【図3】図2に続く工程を説明するための断面図である。

【図4】図3に続く工程を説明するための断面図である。

【図5】図4に続く工程を説明するための断面図である。

【図6】図5に続く工程を説明するための断面図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの平面図である。

【図8】本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

【図9】本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの断面図である。

【図10】本発明の第2の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの平面図である。

【図11】本発明の第3の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

【図12】本発明の第3の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの断面図である。

【図13】本発明の第3の実施の形態に係る薄膜磁気ヘッドの平面図である。

【図14】従来の薄膜磁気ヘッドの製造方法における一工程を説明するための断面図である。

【図15】図14に続く工程を説明するための断面図である。

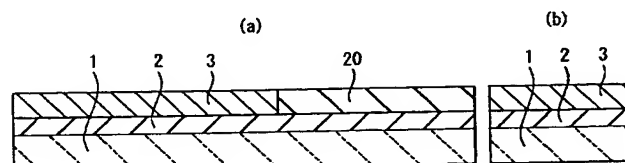
【図16】図15に続く工程を説明するための断面図である。

【図17】図16に続く工程を説明するための断面図である。

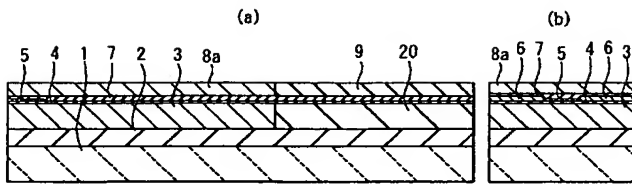
【符号の説明】

1…基板、2…絶縁層、3…下部シールド層、5…MR素子、8a…下部磁極層の第1の部分、8b…下部磁極層の第2の部分、10…絶縁膜、12a…薄膜コイルの第1層部分、12b…薄膜コイルの第2層部分、13…絶縁層、14…記録ギャップ層、15…上部磁極層、16…絶縁膜、17…オーバーコート層。

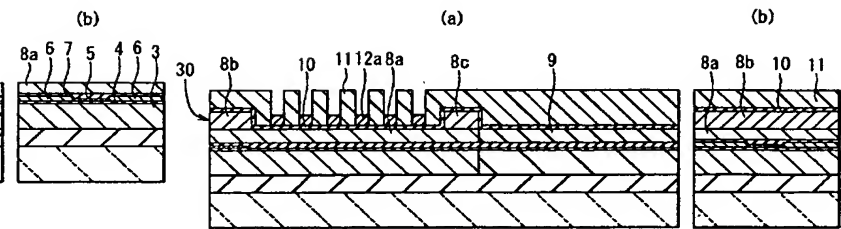
【図1】



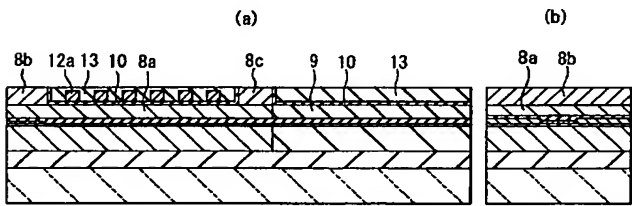
【図 2】



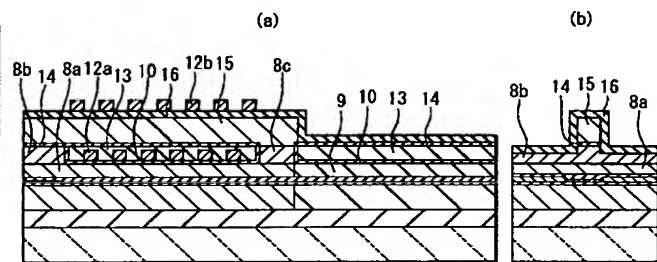
【図 3】



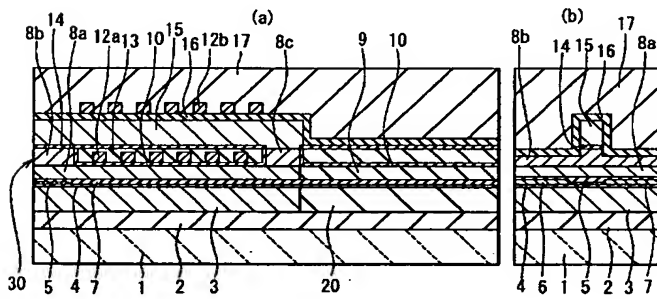
【図 4】



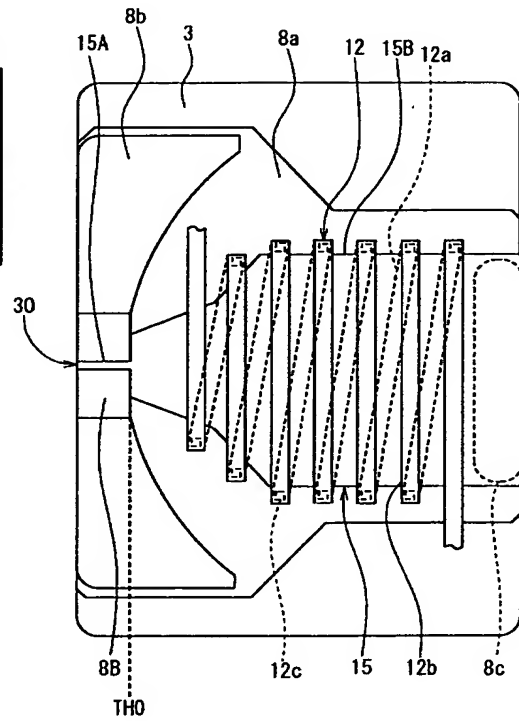
【図 5】



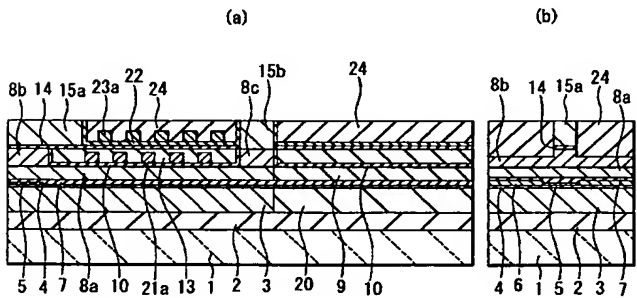
【図 6】

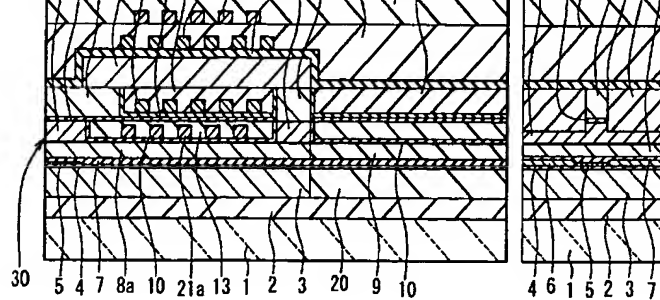


【図 7】

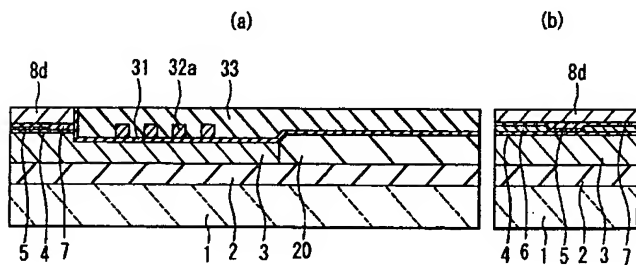


【図 8】

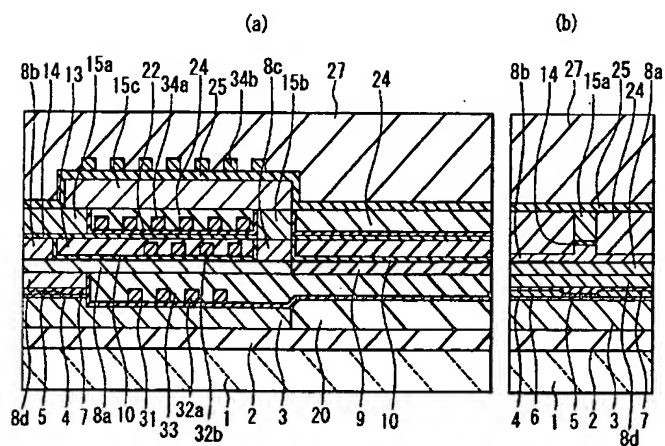




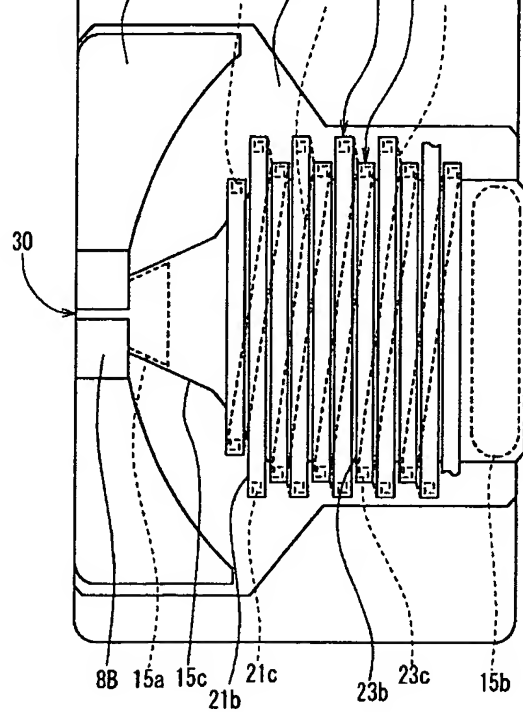
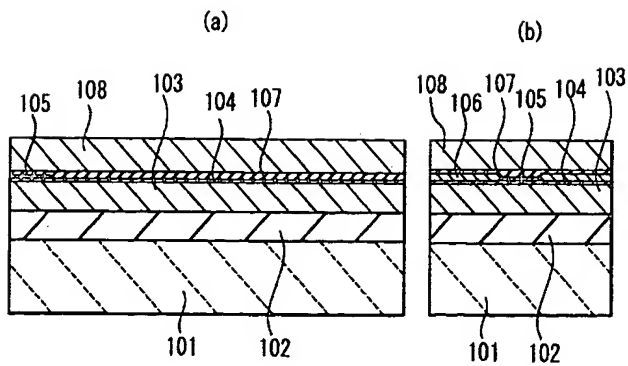
【図 11】



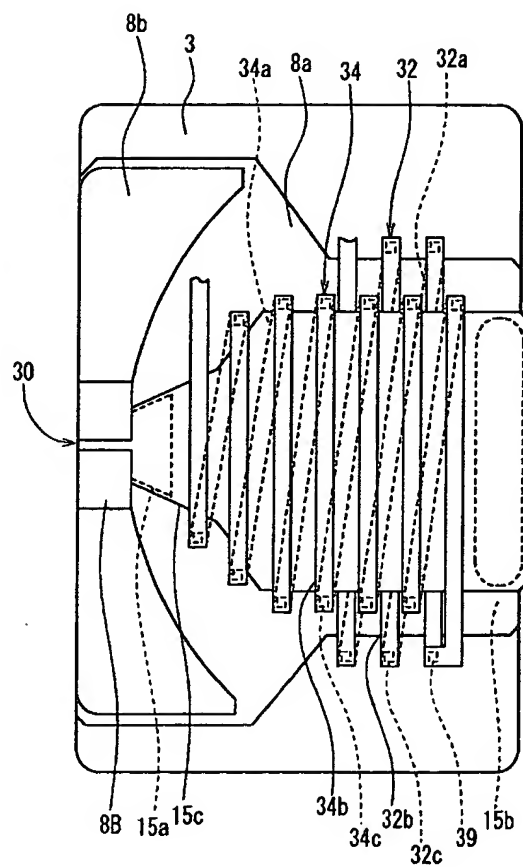
【図 12】



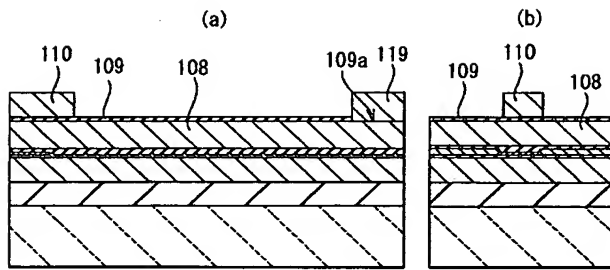
【図 14】



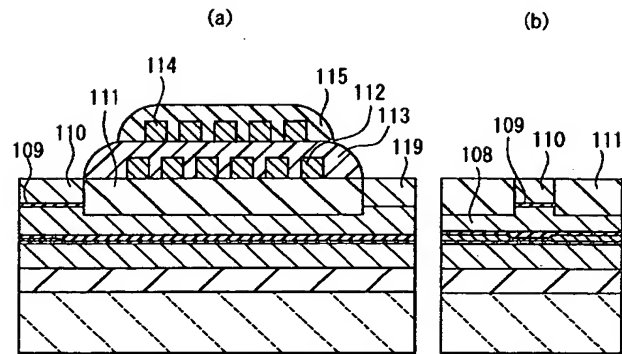
【図 13】



【図 15】



【図 16】



【図 17】

